

Image-transmitting optical system

Patent Number: ☐ US4783154
Publication date: 1988-11-08
Inventor(s): TAKAHASHI SUSUMU (JP)
Applicant(s): OLYMPUS OPTICAL CO (JP)
Requested Patent: ☐ DE3625023
Application Number: US19860888377 19860723
Priority Number(s): JP19850162865 19850725
IPC Classification: G02B23/00; G02B9/04
EC Classification: G02B3/00G, G02B23/24B3
Equivalents: JP2114526C, ☐ JP62024208, JP8023625B

Abstract

The image-transmitting optical system comprising two rod-like lens components, at least one component having a concave air-contact surface, and at least one component including an inhomogeneous lens. In this optical system, curvature of field is eliminated, the loss of illumination intensity and the amount of flare are small, and the deterioration of the image by the decentering is also small.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2



DEUTSCHES
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 36 25 023.6
②② Anmeldetag: 24. 7. 86
④③ Offenlegungstag: 5. 2. 87



DE 3625023 A1

⑤① // G02B 23/24

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①

25.07.85 JP 162865/85

⑦① Anmelder:

Olympus Optical Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:

Luyken, R., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 8000 München

⑦② Erfinder:

Takahashi, Susumu, Hachiohji, Tokio/Tokyo, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Optisches Bildübertragungssystem

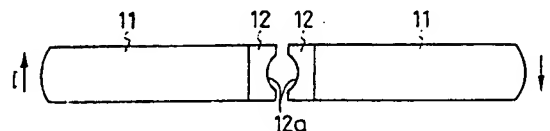
Bei dem optischen Bildübertragungssystem mit zwei stabförmigen Linsengliedern hat zumindest eines der Linsenglieder eine konkave, in Luft stehende Kontaktfläche und ist zumindest eines der Linsenglieder ein Kittglied mit einer inhomogenen Linse.

Vorteilhaft werden die Bedingungen

$$(1) R_p = [\varphi_s \varphi_g] > 0,2$$

$$(2) R_p = [P_s/P_g] > 0,2$$

erfüllt. Vorzugsweise sind die beiden Linsenglieder Kittglieder, deren konkave Oberflächen einander gegenüberliegen, wobei jedes der Linsenglieder zumindest eine inhomogene Linse enthält. Dabei können die beiden Linsenglieder jeweils aus einer plankonkaven homogenen Linse und einer plankonkaven inhomogenen Linse aufgebaut sein und symmetrisch angeordnet sein.



DE 3625023 A1

Patentansprüche

1. Optisches Bildübertragungssystem mit zwei stabförmigen Linsengliedern, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eines der Linsenglieder eine konkave, in Luft stehende Kontaktfläche hat und zumindest eines der Linsenglieder ein Kittglied mit einer inhomogenen Linse ist.
2. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Erfüllung der folgenden Bedingungen:

$$R_{\varphi} = |\varphi_s / \varphi_g| > 0,2 \quad (1')$$

$$R_p = |p_s / p_g| > 0,2 \quad (2')$$

worin

φ_g die Brechkraft eines inneren Abschnittes der inhomogenen Linse,

φ_s die Brechkraft von der konkaven Oberfläche,

P_g den von dem inneren Abschnitt der inhomogenen Linse hervorgerufenen Feldkrümmungskoeffizienten,

P_s den von der konkaven Oberfläche hervorgerufenen Feldkrümmungskoeffizienten bezeichnen.

3. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder Kittglieder sind, deren konkave Oberflächen einander gegenüberliegen, wobei jedes der Linsenglieder zumindest eine inhomogene Linse enthält.

4. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils plankonkave homogene Linsen und plankonkave inhomogene Linsen enthalten und symmetrisch aufgebaut sind.

5. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 4, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linsen durch folgende Formel ausgedrückt wird:

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 1

$r_1 = 17,8274$	$d_1 = 36,8593$	$n_1 = 1,51633$	
$r_2 = \infty$	$d_2 = 8,4407$	$n_2 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_3 = 7,2122$	$d_3 = 3,4$		
$r_4 = -7,2122$	$d_4 = 8,4407$	$n_3 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_5 = \infty$	$d_5 = 36,8593$	$n_4 = 1,51633$	
$r_6 = -17,8274$			
	$N(0) = 1,6455$	$N(1) = -0,6883 \times 10^{-2}$	
	$N(2) = 0,34386 \times 10^{-4}$	$N(3) = -0,19156 \times 10^{-6}$	
	$R_p = 0,852 > 0,2$	$R_p = 1,267 > 0,2$	

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

6. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils bikonvexe, homogene Linsen und bikonkave inhomogene Linsen enthalten und symmetrisch angeordnet sind.

7. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 6, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linse der folgenden Formel folgt:

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 2

$r_1 = 20,0154$	$d_1 = 36,0007$	$n_1 = 1,62004$	
$r_2 = -136,1808$	$d_2 = 9,9993$	$n_2 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_3 = 7,2239$	$d_3 = 2,000$		
$r_4 = -7,2239$	$d_4 = 9,9993$	$n_3 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_5 = 136,1808$	$d_5 = 36,0007$	$n_4 = 1,62004$	
$r_6 = -20,0154$			
	$N(0) = 1,6455$	$N(1) = -0,58903 \times 10^{-2}$	
	$N(2) = 0,25461 \times 10^{-4}$	$N(3) = -0,15054 \times 10^{-6}$	
	$R_p = 0,859 > 0,2$	$R_p = 1,248 > 0,2$	

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

8. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils meniskusförmige homogene Linsen und meniskusförmige inhomogene Linsen enthalten, wobei die inhomogenen Linsen jeweils mit den meniskusförmigen homogenen Linsen an der Seite der konkaven Oberflächen verkittet sind und die Anordnung symmetrisch ist.

9. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 8, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linse der folgenden Formel folgt

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 3

$r_1 = 15,7656$	$d_1 = 37,5020$	$n_1 = 1,62004$		
$r_2 = 35,500$	$d_2 = 8,4980$	$n_2 = 1,64550$	(inhomogen)	
$r_3 = 19,0605$	$d_3 = 2$			
$r_4 = -19,0605$	$d_4 = 8,4980$	$n_3 = 1,64550$	(inhomogen)	
$r_5 = -35,500$	$d_5 = 37,5020$	$n_4 = 1,62004$		
$r_6 = -15,7656$				
	$N(0) = 1,64550$	$N(1) = -0,44389 \times 10^{-2}$		
	$N(2) = 0,78169 \times 10^{-5}$	$N(3) = -0,5536 \times 10^{-7}$		
	$R_p = 0,570 > 0,2$	$R_p = 0,893 > 0,2$		

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

10. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils meniskusförmige inhomogene Linsen und meniskusförmige homogene Linsen enthalten, wobei die homogenen Linsen an der Seite ihrer konvexen Oberflächen verkittet sind und mit bikonkaven inhomogenen Linsen, die jeweils mit den homogenen Linsen an der Seite von deren konvexen Oberflächen verkittet sind, wobei die Anordnung symmetrisch ist.

11. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 10, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linsen durch die folgende Formel ausgedrückt wird:

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 4

$r_1 = -114,7395$	$d_1 = 7,2192$	$n_1 = 1,65$	(inhomogen)	
$r_2 = -146,3917$	$d_2 = 31,6717$	$n_2 = 1,62004$		
$r_3 = -67,5042$	$d_3 = 7,1092$	$n_3 = 1,6455$	(inhomogen)	
$r_4 = 11,0475$	$d_4 = 2$			
$r_5 = -11,0475$	$d_5 = 7,1092$	$n_4 = 1,6455$	(inhomogen)	
$r_6 = 67,5042$	$d_6 = 31,6717$	$n_5 = 1,62004$		
$r_7 = 146,3917$	$d_7 = 7,2192$	$n_6 = 1,65$	(inhomogen)	
$r_8 = 114,7395$				
	Koeffizienten der bikonkaven inhomogenen Linsen			
	$N(0) = 1,6455$	$N(1) = -0,63652 \times 10^{-2}$		
	$N(2) = 0,38077 \times 10^{-4}$	$N(3) = -0,89389 \times 10^{-7}$		
	Koeffizienten der inhomogenen meniskusförmigen Linsen			
	$N(0) = 1,650$	$N(1) = -0,29087 \times 10^{-2}$		
	$N(2) = 0,5148 \times 10^{-3}$	$N(3) = -0,10328 \times 10^{-5}$		
	$R_p = 0,687 > 0,2$	$R_p = 1,06 > 0,2$		

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

12. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils inhomogene Linsen mit zwei planparallelen Oberflächen und plankonvexe Linsen enthalten, wobei die homogenen Linsen mit den inhomogenen Linsen, die zwei planparallele Oberflächen haben, verkittet sind, und mit bikonkaven inhomogenen Linsen, die jeweils mit den homogenen Linsen an deren konvexen Oberflächen verkittet sind, wobei die Anordnung symmetrisch ist.

13. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 12, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linsen durch folgende Formel gegeben ist

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 5

$r_1 = \infty$	$d_1 = 8,0525$	$n_1 = 1,65$	(inhomogen)
$r_2 = \infty$	$d_2 = 32,5050$	$n_2 = 1,62004$	
$r_3 = -71,3024$	$d_3 = 7,9425$	$n_3 = 1,64550$	(inhomogen)
$r_4 = 10,8763$	$d_4 = 3$		
$r_5 = -10,8763$	$d_5 = 7,9425$	$n_4 = 1,64550$	(inhomogen)
$r_6 = 71,3032$	$d_6 = 32,5050$	$n_5 = 1,62004$	
$r_7 = \infty$	$d_7 = 8,0525$	$n_6 = 1,65$	(inhomogen)
$r_8 = \infty$			

Koeffizienten der bikonkaven inhomogenen Linsen

$$N(0) = 1,6455 \quad N(1) = -0,59877 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = 0,31945 \times 10^{-4} \quad N(3) = -0,16593 \times 10^{-6}$$

Koeffizienten der inhomogenen Linsen mit zwei planparallelen Oberflächen

$$N(0) = 1,65 \quad N(1) = -0,20672 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = 0,18077 \times 10^{-5} \quad N(3) = -0,12479 \times 10^{-6}$$

$$R_p = 0,674 > 0,2 \quad R_p = 1,026 > 0,2$$

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

14. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils inhomogene Linsen mit zwei planparallelen Oberflächen und plankonkave inhomogene Linsen enthalten, wobei die plankonkaven inhomogenen Linsen jeweils mit den inhomogenen Linsen mit den beiden planparallelen Oberflächen verkittet sind und die Anordnung symmetrisch ist.

15. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 14, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linsen der folgenden Formel folgt

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 6

$r_1 = \infty$	$d_1 = 36,0007$	$n_1 = 1,6$	(inhomogen)
$r_2 = \infty$	$d_2 = 9,9993$	$n_2 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_3 = 14,1656$	$d_3 = 2$		
$r_4 = -14,1656$	$d_4 = 9,9993$	$n_3 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_5 = \infty$	$d_5 = 36,0007$	$n_4 = 1,6$	(inhomogen)
$r_6 = \infty$			

Koeffizienten der plankonkaven inhomogenen Linsen

$$N(0) = 1,6455 \quad N(1) = -0,27976 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = 0,83925 \times 10^{-5} \quad N(3) = -0,21404 \times 10^{-7}$$

Koeffizienten der inhomogenen Linsen mit zwei planparallelen Oberflächen

$$N(0) = 1,600 \quad N(1) = -0,83305 \times 10^{-3}$$

$$N(2) = 0,29146 \times 10^{-6} \quad N(3) = -0,23355 \times 10^{-9}$$

$$R_p = 0,859 > 0,2 \quad R_p = 1,340 > 0,2$$

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,
 n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

16. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils bikonkave inhomogene Linsen und meniskusförmige inhomogene Linsen enthalten, wobei die meniskusförmigen inhomogenen Linsen jeweils mit den bikonkaven inhomogenen Linsen verkittet sind und die Anordnung symmetrisch ist.

17. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 16, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linsen der folgenden Formel folgt

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 7

$r_1 = -177,5001$	$d_1 = 35,9396$	$n_1 = 1,6$	(inhomogen)
$r_2 = 8,7440$	$d_2 = 10,0604$	$n_2 = 1,65$	(inhomogen)
$r_3 = 7,5261$	$d_3 = 2,00$		
$r_4 = -7,5261$	$d_4 = 10,0604$	$n_3 = 1,65$	(inhomogen)
$r_5 = -8,7440$	$d_5 = 35,9396$	$n_4 = 1,6$	(inhomogen)
$r_6 = 177,5001$			

Koeffizienten der inhomogenen meniskusförmigen Linsen

$$N(0) = 1,65 \quad N(1) = -0,40793 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = -0,30363 \times 10^{-5} \quad N(3) = -0,69905 \times 10^{-7}$$

Koeffizienten der bikonkaven inhomogenen Linsen

$$N(0) = 1,6 \quad N(1) = -0,83608 \times 10^{-3}$$

$$N(2) = -0,27653 \times 10^{-5} \quad N(3) = -0,94969 \times 10^{-8}$$

$$R_p = 1,146 > 0,2 \quad R_p = 1,736 > 0,2$$

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

18. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils bikonvexe homogene Linsen und bikonkave inhomogene Linsen enthalten, welche jeweils mit den homogenen Linsen verkittet sind, sowie meniskusförmige homogene Linsen, die jeweils mit den inhomogenen Linsen verschweißt sind, wobei die Anordnung symmetrisch ist.

19. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 18, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linsen der folgenden Formel folgt

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 8

$r_1 = 20,0841$	$d_1 = 35,6556$	$n_1 = 1,62004$	
$r_2 = -61,9563$	$d_2 = 9,6357$	$n_2 = 1,79594$	(inhomogen)
$r_3 = 7,7267$	$d_3 = 0,7087$	$n_3 = 1,51633$	
$r_4 = 9,1928$	$d_4 = 2$		
$r_5 = -9,1928$	$d_5 = 0,7087$	$n_4 = 1,51633$	
$r_6 = -7,7267$	$d_6 = 9,6357$	$n_5 = 1,79594$	(inhomogen)
$r_7 = 61,9563$	$d_7 = 35,6556$	$n_6 = 1,62004$	
$r_8 = -20,0841$			

$$N(0) = 1,79594 \quad N(1) = -0,63916 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = 0,33092 \times 10^{-4} \quad N(3) = -0,17218 \times 10^{-6}$$

$$R_p = 0,336 > 0,2 \quad R_p = 0,969 > 0,2$$

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

20. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils meniskusförmige homogene Linsen und plankonvexe inhomogene Linsen enthalten, wobei

diese inhomogenen Linsen jeweils mit den homogenen Linsen an deren konkaven Oberflächen verkittet sind, sowie plankonkave homogene Linsen, die jeweils mit den plankonvexen inhomogenen an deren Planseite verkittet sind, wobei die Anordnung symmetrisch ist.

21. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 20, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linsen durch die folgende Formel ausgedrückt wird

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 9

$r_1 = 20,5429$	$d_1 = 35,6627$	$n_1 = 1,62004$	(inhomogen)
$r_2 = 16,3387$	$d_2 = 9,6627$	$n_2 = 1,64550$	
$r_3 = \infty$	$d_3 = 0,6746$	$n_3 = 1,51633$	
$r_4 = 6,5004$	$d_4 = 2$		
$r_5 = -6,5004$	$d_5 = 0,6746$	$n_4 = 1,51633$	(inhomogen)
$r_6 = \infty$	$d_6 = 9,6627$	$n_5 = 1,64550$	
$r_7 = -16,3387$	$d_7 = 35,6627$	$n_6 = 1,62004$	
$r_8 = -20,5429$			

$$\begin{aligned} N(0) &= 1,64500 & N(1) &= -0,55234 \times 10^{-2} \\ N(2) &= -0,19013 \times 10^{-4} & N(3) &= -0,15994 \times 10^{-6} \\ R_p &= 0,546 > 0,2 & R_p &= 1,328 > 0,2 \end{aligned}$$

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

22. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Linsenglieder jeweils plankonvexe homogene Linsen und inhomogene Linsen mit zwei planparallelen Oberflächen enthalten, wobei diese inhomogenen Linsen jeweils mit den homogenen Linsen an deren Planfläche verkittet sind, sowie plankonkave homogene Linsen, die mit den inhomogenen Linsen verkittet sind und meniskusförmige homogene Linsen, die jeweils mit den plankonkaven homogenen Linsen an deren konkaven Oberflächen verkittet sind, wobei die Anordnung symmetrisch ist.

23. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 22, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen Linsen der folgenden Formel genügt

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 10

$r_1 = 19,6041$	$d_1 = 37,0651$	$n_1 = 1,62004$	(inhomogen)
$r_2 = \infty$	$d_2 = 5,4819$	$n_2 = 1,77883$	
$r_3 = \infty$	$d_3 = 1,6739$	$n_3 = 1,51633$	
$r_4 = 4,1982$	$d_4 = 2,0489$	$n_4 = 1,62004$	
$r_5 = 8,7745$	$d_5 = 1,4586$		
$r_6 = -8,7745$	$d_6 = 2,0489$	$n_5 = 1,62004$	(inhomogen)
$r_7 = -4,1982$	$d_7 = 1,6739$	$n_6 = 1,51633$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 5,4819$	$n_7 = 1,77883$	
$r_9 = \infty$	$d_9 = 37,0651$	$n_8 = 1,62004$	
$r_{10} = -19,6041$			

$$\begin{aligned} N(0) &= 1,77883 & N(1) &= -0,68544 \times 10^{-2} \\ N(2) &= 0,11515 \times 10^{-4} & N(3) &= 0,16570 \times 10^{-7} \\ R_p &= 1,003 > 0,2 & R_p &= 1,836 > 0,2 \end{aligned}$$

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

24. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden LinsenkompONENTEN in der Reihenfolge von der Einfallsseite ein Linsenglied aus einer meniskusförmigen homogenen Linse und einer konkaven inhomogenen Linse, das mit der homogenen Linse an deren konkaven Oberfläche verkittet ist und eine bikonvexe Linse enthalten.

25. Optisches Bildübertragungssystem nach Anspruch 24, bei dem die Brechzahlverteilung der inhomogenen

nen Linse der folgenden Formel folgt

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

gekennzeichnet durch folgende Daten $\pm 5\%$:

Tabelle 11

$r_1 = 404,5542$	$d_1 = 40,1460$	$n_1 = 1,62004$	(inhomogen)
$r_2 = 11,3674$	$d_2 = 10,8611$	$n_2 = 1,64550$	
$r_3 = 4,5659$	$d_3 = 3,3561$		
$r_4 = 10,9087$	$d_4 = 39,9009$	$n_3 = 1,62004$	
$r_5 = -10,6031$			
	$N(0) = 1,6455$	$N(1) = -0,603 \times 10^{-2}$	15
	$N(2) = -0,1107 \times 10^{-4}$	$N(3) = -0,8838 \times 10^{-7}$	
	$R_p = 1,240 > 0,2$	$R_p = 1,763 > 0,2$	

darin bezeichnen:

r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der Linsen,

d_1, d_2, \dots die Dicken der Linsen bzw. Luftabstände zwischen diesen,

n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen,

$N(1), N(2), \dots$ die Koeffizienten der Brechzahlverteilung.

26. Optisches Bildübertragungssystem nach einem der Ansprüche 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß dessen Korrektionszustand mit dem eines optischen Bildübertragungssystem gemäß einer der Datentabellen hinsichtlich der Bildfehler dritter Ordnung im wesentlichen übereinstimmt, wobei für jeden dieser Fehler die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\sqrt{(S'_i - S_i)^2} < 0,1 \cdot \sqrt{(S_i - \bar{S}_i)^2}$$

wobei

S_i Flächenteilkoeffizient der i -ten Linsenfläche nach Seidel für die jeweilige tatsächliche Blendenlage und Brennweite,

S'_i Flächenteilkoeffizient der i -ten Linsenfläche nach Seidel für das vom optischen Bildübertragungssystem der angegebenen Datentabelle abweichende optische Bildübertragungssystem und

Größen mit Querstrich arithmetische Mittelwerte über alle Linsenflächen (i) bedeuten.

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches Bildübertragungssystem für beispielsweise ein starres Endoskop, insbesondere auf ein optisches Bildübertragungssystem mit Verwendung von inhomogenen Linsen.

Die Erfindung wird nun anhand der Zeichnungen näher erläutert.

In den Zeichnungen zeigt:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht der Ausführung eines üblichen optischen Systems für ein Endoskop

Fig. 2 bis 4 schematische Darstellungen der Ausbildung von üblichen bildübertragenden optischen Systemen

Fig. 5 den Strahlengang in einer inhomogenen Linse

Fig. 6 ein Schnittbild des optischen Bildübertragungssystems 1 nach der vorliegenden Erfindung

Fig. 7 ein Schnittbild, das die Brechzahlverteilung einer inhomogenen Linse veranschaulicht

Fig. 8 bis 17 Schnittbilder erfindungsgemäßer optischer Bildübertragungssysteme 2 bis 11

Fig. 18 bis 28 Korrekturkurven der erfindungsgemäßen optischen Bildübertragungssysteme 1 bis 11.

Übliche optische Bildübertragungssysteme für Endoskope usw. bestehen nur aus homogenen Linsen, d. h. ein optisches System für ein Endoskop besitzt, wie in Fig. 1 gezeigt, ein Objektiv 1, ein optisches Bildübertragungssystem 2 und ein Okular 3. Dabei kann das optische Bildübertragungssystem beispielsweise den in Fig. 2 gezeigten Aufbau besitzen, wie er in der japanischen Auslegeschrift 5 993/74 gezeigt ist. Bei diesem optischen System ist die Bildfeldkrümmung nicht beseitigt.

Es gibt auch demgegenüber verbesserte ältere Vorschläge, und das ist beispielsweise das in der japanischen Offenlegungsschrift 4 245/77, Fig. 3, gezeigte Linsensystem. Bei diesem Linsensystem ist die Bildfeldkrümmung weitgehend beseitigt. Dieses Linsensystem hat jedoch den Nachteil, daß der Linsenaufbau komplex und die Zahl der Linsen groß ist, und daß viele in Luft stehende Flächen vorgesehen sind. In der letzten Zeit sind Linsen mit sich ändernder Brechzahl (inhomogene Linsen) entwickelt worden.

Ein optisches System für ein Endoskop mit inhomogenen Linsen ist in Fig. 4 dargestellt. Bei diesem optischen System für ein Endoskop ist ein bildübertragendes optisches System 4 vorgesehen, das eine inhomogene Linse enthält, deren beide Oberflächen plan sind. Diese inhomogene Linse des optischen Bildübertragungssystems hat eine Brechzahl, deren Verteilung im wesentlichen mit dem Quadrat der Entfernung vom Mittelwert zur Peripherie der Linse abnimmt, so daß der Lichtstrahl entlang einer Kurve verläuft, wie in Fig. 5 gezeigt, während ein Bild übertragen wird. Bei einem eine solche inhomogene Linse verwendenden optischen Bildübertragungssystem ist die Konstruktion sehr einfach, aber Bildfeldkrümmung ist nicht beseitigt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein optisches Bildübertragungssystem anzugeben, bei dem die Bildfeldkrümmung gut korrigiert ist, wobei der Verlust der an Beleuchtungsstärke und die Stärke der

Überstrahlung klein sein sollen und sich kaum eine Dezentrierung der Linsen im Linsenrahmen ergibt, wenn sie zusammengesetzt werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe kann das erfindungsgemäße optische Bildübertragungssystem zwei stabförmige Linsenglieder enthalten, von denen mindestens eines eine konkave, in Luft stehende Fläche enthält und mindestens eines als Kittglied mit einer Linse verlaufender Brechzahl (GRIN lens oder inhomogene Linse) ausgebildet ist.

Bei einer inhomogenen Linse ist die Brechzahlverteilung so, daß dieser Typ insgesamt eine Brechkraft besitzt, selbst wenn beide Oberflächen eben sind. Unter Benutzung dieser Eigenschaft ist es möglich, die Linsen so auszubilden, daß sie Brechkraft haben, selbst wenn sie mit einer anderen Linse verkittet sind, was es ermöglicht, die Zahl der an Luft stehenden Flächen zu vermindern. Darüber hinaus wird, wenn eine in Luft stehende Fläche konkav ausgebildet wird, der negative Feldkrümmungskoeffizient von dieser konkaven Oberfläche bestimmt, so daß es möglich ist, die Petzsumme zu verringern und Bildfeldkrümmung zu korrigieren (dabei bezeichnet Feldkrümmungskoeffizient den Aberrationskoeffizient dritter Ordnung für Bildfeldkrümmung auf einer Linsenfläche). Insbesondere ist es vorteilhaft, eine inhomogene Linse als bildformende Linse zu verwenden, um eine Oberfläche einer inhomogenen Linse als an Luft stehende Fläche auszubilden und diese Oberfläche konkav auszubilden.

Ein erfindungsgemäßes optisches Bildübertragungssystem hat den beispielsweise in Fig. 6 gezeigten Linsenaufbau, bei dem eine homogene Linse 11 mit einer inhomogenen Linse 12 positiver Brechkraft insgesamt verkittet ist, wobei eine konkave Luftkontaktfläche vorgesehen ist, und dieses Kittglied hat insgesamt positive Brechkraft. Ein solches optisches System bildet ein Bild eines Bildes I bei I' der Reihe nach ab, und so wird das Bild übertragen. Infolge dieser oben erläuterten Konstruktion vermindert der negative Feldkrümmungskoeffizient, der sich durch die konkave Oberfläche ergibt, die Petzsumme, und die Bildfeldkrümmung wird unterdrückt.

Es ist möglich, den Effekt der Korrektur der Feldkrümmung besonders wirksam werden zu lassen, wenn sowohl das Verhältnis R_ϕ von ϕ_g zu ϕ_s als auch das Verhältnis R_p von p_g zu p_s den folgenden Bedingungen genügen:

$$R_\phi = |\phi_g / \phi_s| > 0,2 \quad (1)$$

$$R_p = |p_g / p_s| > 0,2 \quad (2)$$

dabei bezeichnet ϕ_g die Brechkraft des inneren Bereiches der inhomogenen Linse, ϕ_s die Brechkraft der konkaven Oberfläche, p_g den Feldkrümmungskoeffizienten vom Innenbereich der inhomogenen Linse und p_s den Feldkrümmungskoeffizienten, der von der konkaven Oberfläche hervorgerufen wird.

Wenn die unteren Grenzwerte dieser Bedingungen (1) und (2) nicht erfüllt sind, wird die Verminderung der Feldkrümmung nicht wesentlich, was unerwünscht ist.

Wenn die Brechzahlverteilung einer inhomogenen Linse axial symmetrisch ist und mit wachsendem Radius vom Mittelpunkt zum Rand variiert, ist das Verhältnis von R_p des Feldkrümmungskoeffizienten p_g , der durch den Innenbereich der inhomogenen Linse hervorgerufen wird, zum Feldfeldkrümmungskoeffizienten p_s , der von der in Luft stehenden Oberfläche hervorgerufen wird, durch folgende Formel bestimmt:

$$R_p = \frac{N^2(0) \cdot c}{2N(1) \cdot t} \cdot \Delta \left(\frac{1}{N(0)} \right)$$

darin bezeichnet

c die Krümmung der in Luft stehenden Oberfläche der inhomogenen Linse
 t deren Dicke und

$N(0)$ und $N(1)$ die Brechzahlen im Mittelpunkt der inhomogenen Linse und der Koeffizient von r^2 der Brechzahlverteilung, wobei beides sich aus folgender Formel ergibt:

$$n(r) = N(0) + N(1) \cdot r^2 + N(2) \cdot r^4 + N(3) \cdot r^6 + \dots$$

$$\Delta \left(\frac{1}{N(0)} \right) = \frac{1}{N(0)} - 1$$

Andererseits hat eine homogene Linse in dem erfindungsgemäßen Bildübertragungssystem folgende Aufgaben.

Eine dieser Aufgaben ist, die Pupille ebenso wie das Bild zu übertragen.

Um das Bild mehrmals zu übertragen, muß die Pupille auch entsprechend übertragen werden. Andererseits würde die Beleuchtungsstärke des Randes des Bildfelds abnehmen, oder, wie es manchmal der Fall sein kann, wird die Beleuchtung überhaupt nicht übertragen.

Als erfindungsgemäß wird der parallel zur optischen Achse zur homogenen Linse 11 einfallende Strahl von dem außeraxialen Gegenstandspunkt durch die konvexe Fläche der homogenen Linse 11 gekrümmt, kreuzt die optische Achse beim Mittelpunkt der inhomogenen Linsen 12, die einander gegenüberstehen, und wird wieder parallel zur optischen Achse durch die konvexe Oberfläche der anderen homogenen Linse. Mit anderen Worten hat das erfindungsgemäße optische System einen Aufbau, bei dem sowohl die Eintrittspupille als auch die Austrittspupille bei Unendlich angeordnet sind.

Eine weitere Aufgabe des homogenen Materials besteht darin, daß diese homogene Linse als eine stabförmige

Linse ausgebildet ist, bei der der Zwischenraum zwischen der inhomogenen Linse mit der bildformenden Funktion, und der konvexen Oberfläche der homogenen Linse, die die Funktion einer Feldlinse erfüllt, mit Glas gefüllt ist. Daher ist es möglich, das Licht ungefähr n -mal NA zu übertragen, verglichen mit dem Fall, in dem der Zwischenraum zwischen den Linsen zwei Funktionen hat, d. h. zwischen der Feldlinse und der bildformenden Linse, wenn dort ein Luftabstand ist, wobei n die Brechzahl des Glases der homogenen Linse bezeichnet. Die Beleuchtungsintensität des optischen Systems ist proportional dem Quadrat von NA , so daß es möglich ist, n^2 Beleuchtungsintensität zu erhalten, im Vergleich zu dem Fall, in dem der Zwischenraum ein Luftabstand ist.

Schließlich sind erfindungsgemäß homogene Linse und inhomogene Linse miteinander verkittet, so daß die Zahl der in Luft stehenden Oberflächen vermindert ist, wodurch die Bildverschlechterung gering ist, die durch Dezentrierung entsteht, welche von dem Spiel hervorgerufen wird, wenn das optische System in einem Rohr zusammengesetzt wird. Dies liegt daran, daß es möglich ist, das Kippen der Linsen geringer zu halten als in dem Fall, in dem homogene Linsen und inhomogene Linsen nicht verkittet sind, sondern auf Abstand stehen, selbst wenn der Spalt zwischen den Linsen und dem Rohr in beiden Fällen der gleiche ist.

In gleicher Weise ist es möglich, wenn der Randabschnitt der konkaven Oberflächen der inhomogenen Linsen 12, die einander gegenüberstehen, miteinander verkittet sind, eine konvexförmige Luftlinse dazwischen zu bilden und die Dezentrierung der Linse gering zu halten.

Es werden nun bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen optischen Bildübertragungssystems im einzelnen betrachtet.

Das optische Bildübertragungssystem 1 nach der Erfindung hat den in Fig. 6 gezeigten Aufbau als Grundkonstruktion, bei dem zwei Kittglieder aus einer homogenen Linse 11 und einer inhomogenen Linse 12 symmetrisch so angeordnet sind, daß die konkaven Oberflächen 12a der inhomogenen Linsen 12 einander gegenüberstehen.

Die Brechzahlverteilung ist durch die vorerwähnte Formel gegeben, wobei die Brechzahl mit dem Quadrat der Entfernung vom Mittelpunkt zum Rand abnimmt, wie in Fig. 7 gezeigt. Die Brechzahl im Mittelpunkt der inhomogenen Linse ist größer als die der homogenen Linse.

Die Daten dieses ersten optischen Bildübertragungssystems sind wie folgt:

Tabelle 1

$r_1 = 17,8274$	$d_1 = 36,8593$	$n_1 = 1,51633$		
$r_2 = \infty$	$d_2 = 8,4407$	$n_2 = 1,6455$	(inhomogen)	
$r_3 = 7,2122$	$d_3 = 3,4$	$n_3 = 1,6455$	(inhomogen)	
$r_4 = -7,2122$	$d_4 = 8,4407$	$n_4 = 1,51633$		
$r_5 = \infty$	$d_5 = 36,8593$			
$r_6 = -17,8274$				
	$N(0) = 1,6455$	$N(1) = -0,6883 \times 10^{-2}$		
	$N(2) = 0,34386 \times 10^{-4}$	$N(3) = -0,19156 \times 10^{-6}$		
	$R_p = 0,852 > 0,2$	$R_p = 1,267 > 0,2$		

Diese System 1 hat einen einfachen Aufbau, bei dem, wie oben dargelegt, die plankonvexen homogenen Linsen und die plankonkaven inhomogenen Linsen miteinander verkittet sind. Daher sind nur vier in Luft stehende Oberflächen für eine Bildübertragung vorgesehen.

Der Korrekturzustand dieses Systems 1 nach der vorliegenden Erfindung ist in Fig. 18 gezeigt, woraus sich ergibt, daß die Aberrationen vielfach kleiner als die eines üblichen Systems, das nur homogene Linsen verwendet und in Fig. 2 gezeigt sind, oder die eines anderen üblichen Systems, wie es in Fig. 3 gezeigt ist, sind.

Beim System 2 nach der Erfindung, wie es schematisch in Fig. 8 dargestellt ist, ist die Kittfläche gekrümmt, und eine bikonvexe homogene Linse 13 und eine bikonkave inhomogene Linse 14 sind miteinander verkittet.

Die Daten dieses Systems 2 sind wie folgt.

Tabelle 2

$r_1 = 20,0154$	$d_1 = 36,0007$	$n_1 = 1,62004$		
$r_2 = -136,1808$	$d_2 = 9,9993$	$n_2 = 1,6455$	(inhomogen)	
$r_3 = 7,2239$	$d_3 = 2,000$	$n_3 = 1,6455$	(inhomogen)	
$r_4 = -7,2239$	$d_4 = 9,9993$	$n_4 = 1,62004$		
$r_5 = 136,1808$	$d_5 = 36,0007$			
$r_6 = -20,0154$				
	$N(0) = 1,6455$	$N(1) = -0,58903 \times 10^{-2}$		
	$N(2) = 0,25461 \times 10^{-4}$	$N(3) = -0,15054 \times 10^{-6}$		
	$R_p = 0,859 > 0,2$	$R_p = 1,248 > 0,2$		

Der Korrekturzustand dieses Systems 2 ergibt sich aus Fig. 19. Wie daraus folgt, ist Bildfeldkrümmung fast völlig beseitigt.

Die Besonderheit dieses erfindungsgemäßen Systems 2 besteht wie oben erwähnt darin, daß die Kittflächen zwischen den homogenen Linsen 13 und den inhomogenen Linsen 14 konkav sind, und die Brechzahl der homogenen Linse 13 niedriger als die der inhomogenen Linse 14 ist, so daß die Kittfläche eine konkave Funktion annimmt. Durch diese Oberfläche ist sphärische Aberration beseitigt, was gegenüber dem Fall vorteilhaft ist, in dem sphärische Aberration nur durch eine in Luft stehende Oberfläche einer inhomogenen Linse beseitigt wird.

Der Aufbau des erfindungsgemäßen Systems 3 ist in Fig. 9 gezeigt, wobei ähnlich System 2, die Kittfläche

zwischen homogener Linse und inhomogener Linse gekrümmt ist, d. h. die meniskusförmige homogene Linse 15 und die meniskusförmige inhomogene Linse 16 sind miteinander verkittet. Die Daten sind dabei wie folgt.

Tabelle 3

$r_1 = 15,7656$	$d_1 = 37,5020$	$n_1 = 1,62004$	
$r_2 = 35,500$	$d_2 = 8,4980$	$n_2 = 1,64550$	(inhomogen)
$r_3 = 19,0605$	$d_3 = 2$		
$r_4 = -19,0605$	$d_4 = 8,4980$	$n_3 = 1,64550$	(inhomogen)
$r_5 = -35,500$	$d_5 = 37,5020$	$n_4 = 1,62004$	
$r_6 = -15,7656$			
	$N(0) = 1,64550$	$N(1) = -0,44389 \times 10^{-2}$	
	$N(2) = 0,78169 \times 10^{-5}$	$N(3) = -0,5536 \times 10^{-7}$	
	$R_\varphi = 0,570 > 0,2$	$R_p = 0,893 > 0,2$	

Der Korrekturzustand dieses Systems 3 ist in Fig. 20 veranschaulicht.

Beim erfindungsgemäßen System 4 liegt der in Fig. 10 gezeigte Linsenaufbau vor. Bei diesem System wird die Funktion der Feldlinse, die beispielsweise von der konvexen Oberfläche der inhomogenen Linse 11 beim System 1 erfüllt wird, durch die inhomogene Linse ersetzt. Das bedeutet, daß dieses System die Konstruktion umfaßt, bei der das Kittglied, das aus der homogenen Linse 17 und der inhomogenen Linse 18 besteht, und die konkave in Luft stehende Fläche weiter mit einer inhomogenen Linse 19 verkittet ist, die die Funktion als Feldlinse erfüllt. Infolge dieser drei-Linsenkomposition wird die Konstruktion etwas kompliziert, aber es sind für eine Bildübertragung nur vier in Luft stehende Oberflächen vorgesehen.

Die Daten dieses Systems 4 sind wie folgt.

Tabelle 4

$r_1 = -114,7395$	$d_1 = 7,2192$	$n_1 = 1,65$	(inhomogen)
$r_2 = -146,3917$	$d_2 = 31,6717$	$n_2 = 1,62004$	
$r_3 = -67,5042$	$d_3 = 7,1092$	$n_3 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_4 = 11,0475$	$d_4 = 2$		
$r_5 = -11,0475$	$d_5 = 7,1092$	$n_4 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_6 = 67,5042$	$d_6 = 31,6717$	$n_5 = 1,62004$	
$r_7 = 146,3917$	$d_7 = 7,2192$	$n_6 = 1,65$	(inhomogen)
$r_8 = 114,7395$			
	Koeffizienten der Linse 18		
	$N(0) = 1,6455$	$N(1) = -0,63652 \times 10^{-2}$	
	$N(2) = 0,38077 \times 10^{-4}$	$N(3) = -0,89389 \times 10^{-7}$	
	Koeffizienten der Linse 19		
	$N(0) = 1,650$	$N(1) = -0,29087 \times 10^{-2}$	
	$N(2) = 0,5148 \times 10^{-5}$	$N(3) = -0,10328 \times 10^{-5}$	
	$R_\varphi = 0,687 > 0,2$	$R_p = 1,06 > 0,2$	

Bei diesem System 4 wird auch für den Feldlinsenanteil eine inhomogene Linse verwendet und die in Luft stehende Oberfläche ist konkav ausgebildet, um negative Brechkraft zu erzeugen, so daß ein negativer Feldkrümmungskoeffizient erzielt wird. Infolgedessen ist es leichter, Feldkrümmung zu korrigieren als in dem Fall, in dem der negative Feldkrümmungskoeffizient nur durch den bildformenden Linsenabschnitt hervorgerufen wird.

Der Korrekturzustand dieses erfindungsgemäßen Systems 4 ist in Fig. 21 gezeigt.

Das erfindungsgemäße System 5 hat den in Fig. 11 gezeigten Linsenaufbau, der eine Vereinfachung des Linsensystems bei der vierten Ausführungsform nach der Erfindung darstellt.

Bei diesem System 5 wird eine inhomogene Linse 21 mit konkaver, in Luft stehender Fläche, eine plankonvexe homogene Linse 20 und eine inhomogene Linse 22 mit zwei ebenen Oberflächen verkittet. Das Bild ist an der äußeren Oberfläche 22a der inhomogenen Linse 22 erzeugt, so daß wenn bei einer Anordnung die Bildübertragung zwei- und mehrmals erfolgt, es möglich ist, das nächste bildübertragende optische System an diese Oberfläche anzukitten. Dabei sind für eine Bildübertragung vier in Luft stehende Flächen wie bei den anderen Systemen vorgesehen. Wenn jedoch zwei und mehr Bildübertragungen erfolgen sollen, ist es möglich, die Zahl der in Luft stehenden Oberflächen zu verringern, wenn die einzelnen Systeme in der oben beschriebenen Weise miteinander verkittet werden. Wenn beispielsweise für fünf Bildübertragungen bei anderen Systemen 20 Oberflächen vorhanden sind (4 Oberflächen \times 5), sind bei diesem System nur 12 Oberflächen (2 Oberflächen \times 5 + 2 Oberflächen) erforderlich, so daß es möglich ist, die Zahl der in Luft stehenden Oberflächen beträchtlich zu verringern. Infolgedessen wird es möglich, ein optisches System zu erhalten, bei dem der Verlust an Beleuchtung, der durch die in Luft stehenden Oberflächen verursacht ist, geringer ist, und bei dem auch die Unschärfe geringer ist.

Die Daten des Systems 5 sind wie folgt.

Tabelle 5

$r_1 = \infty$	$d_1 = 8,0525$	$n_1 = 1,65$	(inhomogen)
$r_2 = \infty$	$d_2 = 32,5050$	$n_2 = 1,62004$	
$r_3 = -71,3024$	$d_3 = 7,9425$	$n_3 = 1,64550$	(inhomogen)
$r_4 = 10,8763$	$d_4 = 3$		
$r_5 = -10,8763$	$d_5 = 7,9425$	$n_4 = 1,64550$	(inhomogen)
$r_6 = 71,3032$	$d_6 = 32,5050$	$n_5 = 1,62004$	
$r_7 = \infty$	$d_7 = 8,0525$	$n_6 = 1,65$	(inhomogen)
$r_8 = \infty$			

Koeffizienten der Linse 21

$$N(0) = 1,6455 \quad N(1) = -0,59877 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = 0,31945 \times 10^{-4} \quad N(3) = -0,16593 \times 10^{-6}$$

Koeffizienten der Linse 22

$$N(0) = 1,65 \quad N(1) = -0,20672 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = 0,18077 \times 10^{-5} \quad N(3) = -0,12479 \times 10^{-6}$$

$$R_\varphi = 0,674 > 0,2 \quad R_p = 1,026 > 0,2$$

Der Korrekturzustand dieses Systems 5 ist aus Fig. 22 ersichtlich.

Das erfindungsgemäße System 6 enthält nur inhomogene Linsen, d. h. es sind wie in Fig. 12 gezeigt, eine inhomogene Linse 24 mit zwei ebenen Oberflächen und eine plankonkave inhomogene Linse 23 miteinander verkittet, und die an Luft stehende Oberfläche der inhomogenen Linse 23 ist konkav. Daher hat das erfindungsgemäße optische System 6 einen außerordentlich einfachen Aufbau. Dabei liegt die Stellung des Bildes außerhalb des optischen Systems; es ist aber auch möglich, die Stellung an eine Linsenoberfläche zu bringen. Im letzteren Fall kann ähnlich wie bei System 5, wenn die plane Seite der inhomogenen Linse 24 mit dem nächsten bildübertragenden System verkittet wird, die Zahl der an Luft stehenden Oberflächen verringert werden.

Die Daten dieses erfindungsgemäßen Systems 6 sind wie folgt.

Tabelle 6

$r_1 = \infty$	$d_1 = 36,0007$	$n_1 = 1,6$	(inhomogen)
$r_2 = \infty$	$d_2 = 9,9993$	$n_2 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_3 = 14,1656$	$d_3 = 2$		
$r_4 = -14,1656$	$d_4 = 9,9993$	$n_3 = 1,6455$	(inhomogen)
$r_5 = \infty$	$d_5 = 36,0007$	$n_4 = 1,6$	(inhomogen)
$r_6 = \infty$			

Koeffizienten der Linse 23

$$N(0) = 1,6455 \quad N(1) = -0,27976 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = 0,83925 \times 10^{-5} \quad N(3) = -0,21404 \times 10^{-7}$$

Koeffizienten der Linse 24

$$N(0) = 1,600 \quad N(1) = -0,83305 \times 10^{-3}$$

$$N(2) = 0,29146 \times 10^{-6} \quad N(3) = -0,23355 \times 10^{-9}$$

$$R_\varphi = 0,859 > 0,2 \quad R_p = 1,340 > 0,2$$

Der Korrekturzustand dieses erfindungsgemäßen Systems 6 ist in Fig. 23 dargestellt.

Bei dem diesem System zugrundeliegenden Konstruktionsprinzip, bei dem zwei Arten von inhomogenen Linsen verwendet werden, deren Brechzahlgradienten voneinander unterschiedlich sind und die miteinander verkittet sind, werden folgende Vorteile erreicht.

Wenn man nur eine Art von inhomogenen Linsen verwendet, deren Brechzahl in Axialrichtung homogen ist, und mit dem Radius vom Mittelpunkt zum Rand variiert, kann man selbst wenn die Außenfläche eben und die Innenfläche konkav ausgebildet ist, die Pupille nicht geeignet übertragen sowie auch die Feldkrümmung unterdrücken. Dies wird aber möglich, wenn zwei Arten von inhomogenen Linsen wie bei diesem System miteinander verkittet werden.

Im erfindungsgemäßen System 7 sind ähnlich wie im erfindungsgemäßen System 6 zwei Arten von inhomogenen Linsen verkittet bzw. eine Meniskuslinse 27 mit konkaver, in Luft stehender Oberfläche und eine bikonkave inhomogene Linse 26 sind miteinander verkittet, wie in Fig. 13 gezeigt.

Die Daten dieses erfindungsgemäßen Systems 7 sind wie folgt.

Tabelle 7

$r_1 = -177,5001$	$d_1 = 35,9396$	$n_1 = 1,6$	(inhomogen)
$r_2 = 8,7440$	$d_2 = 10,0604$	$n_2 = 1,65$	(inhomogen)
$r_3 = 7,5261$	$d_3 = 2,00$		
$r_4 = -7,5261$	$d_4 = 10,0604$	$n_3 = 1,65$	(inhomogen)
$r_5 = -8,7440$	$d_5 = 35,9396$	$n_4 = 1,6$	(inhomogen)
$r_6 = 177,5001$			

Koeffizienten der Linse 25

$$N(0) = 1,65 \quad N(1) = -0,40793 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = -0,30363 \times 10^{-5} \quad N(3) = -0,69905 \times 10^{-7}$$

Koeffizienten der Linse 26

$$N(0) = 1,6 \quad N(1) = -0,83608 \times 10^{-3}$$

$$N(2) = -0,27653 \times 10^{-5} \quad N(3) = -0,94969 \times 10^{-8}$$

$$R_p = 1,146 > 0,2 \quad R_p = 1,736 > 0,2$$

Bei diesem erfindungsgemäßen System 7 ist es möglich, sphärische Aberration und Koma durch die Kittfläche zwischen den inhomogenen Linsen 25 und 26 zu korrigieren. Es ist auch ein Vorteil, daß die Außenfläche konkav ist. Der liegt darin, daß es möglich ist, einen negativen Feldkrümmungskoeffizienten mit dieser Oberfläche zu erzeugen, um die Feldkrümmung zu korrigieren. Der Korrekturzustand dieses erfindungsgemäßen Systems 7 ist in Fig. 24 dargestellt.

Bei dem erfindungsgemäßen System 8 ist, wie in Fig. 14 gezeigt, eine inhomogene Linse 28 mit einer homogenen Linse 27 verkittet, und eine weitere homogene Linse 29 mit einer konkaven, in Luft stehenden Oberfläche ist weiter daran gekittet. Die zwei Linsenglieder sind symmetrisch angeordnet, so daß die homogenen Linsen 29 an der Innenseite des Linsensystems liegen. Bei der inhomogenen Linse 28 dieses optischen Systems ist die Brechzahl an der optischen Achse am höchsten, und nimmt zum Rand zu ab, im wesentlichen durch eine Selbstmultiplikationsverteilung.

Die Daten dieses erfindungsgemäßen Systems 8 sind wie folgt.

Tabelle 8

$r_1 = 20,0841$	$d_1 = 35,6556$	$n_1 = 1,62004$	
$r_2 = -61,9563$	$d_2 = 9,6357$	$n_2 = 1,79594$	(inhomogen)
$r_3 = 7,7267$	$d_3 = 0,7087$	$n_3 = 1,51633$	
$r_4 = 9,1928$	$d_4 = 2$		
$r_5 = -9,1928$	$d_5 = 0,7087$	$n_4 = 1,51633$	
$r_6 = -7,7267$	$d_6 = 9,6357$	$n_5 = 1,79594$	(inhomogen)
$r_7 = 61,9563$	$d_7 = 35,6556$	$n_6 = 1,62004$	
$r_8 = -20,0841$			

$$N(0) = 1,79594 \quad N(1) = -0,63916 \times 10^{-2}$$

$$N(2) = 0,33092 \times 10^{-4} \quad N(3) = -0,17218 \times 10^{-6}$$

$$R_p = 0,336 > 0,2 \quad R_p = 0,969 > 0,2$$

Bei diesem erfindungsgemäßen System 8 hat die inhomogene Linse 28 keine in Luft stehende Oberfläche, so daß die in Luft stehende Oberfläche der homogenen Linse 29 konkav ausgebildet ist. Ähnlich wie bei dem System 1 bis 7 hat die inhomogene Linse 28 eine bildformende Funktion, und die in Luft stehende Oberfläche dient dazu, die Petzvalsumme zu verringern, so daß die Bildfeldkrümmung geeignet korrigiert ist. In diesem Fall sind die Bedingungen zur Unterdrückung der Bildfeldkrümmung wie folgt:

$$R_\varphi = |\varphi_s / \varphi_g| > 0,2 \quad (1)$$

$$R_p = |p_s / p_g| > 0,2 \quad (2)$$

Diese Bedingungen (1') und (2') sind im wesentlichen gleich den Bedingungen (1) und (2). Bei diesen Bedingungen (1') und (2') stellen φ_g und p_g die Brechkraft des inneren Teils der inhomogenen Linse (die Brechkraft wenn beide Seiten parallele Flächen wären) dar, und den Feldkrümmungskoeffizienten, der von dem inneren Bereich der inhomogenen Linse erzeugt wird (der Feldkrümmungskoeffizient, der durch die inhomogene Linse erzeugt würde, wenn beide Seitenoberflächen planparallele Oberflächen wären), und φ_s und p_s die Brechkraft der konkaven, in Luft stehenden Oberfläche der homogenen Linse und den Feldkrümmungskoeffizienten, der dadurch hervorgerufen wird, dar.

Wenn die oben erwähnten Bedingungen nicht erfüllt sind, ist die Funktion zur Unterdrückung der Bildfeldkrümmung durch die konkave Oberfläche so schwach, daß das System praktisch unbrauchbar wird.

In diesem System 8 sind $R_\varphi = 0,336 > 0,2$ und $R_p = 0,969 > 0,2$, was den Bedingungen (1') und (2') genügt.

Daher wird die Funktion der Unterdrückung der Bildfeldkrümmung erfüllt. Bei dieser Ausführungsform sind verschiedene Kittflächen vorgesehen, so daß es leichter ist, die Aberrationen zu korrigieren. Der Korrekturzustand dieses erfindungsgemäßen Systems 8 ist in Fig. 25 dargestellt.

Das erfindungsgemäße System 9 hat den in Fig. 15 gezeigten Aufbau, wobei eine homogene meniskusförmige

Linse 30 an einer Seite an eine plankonvexe inhomogene Linse 31 gekittet ist, und eine plankonvexe homogene Linse 32 mit der anderen Seite der inhomogenen Linse 31 verkittet ist. Zwei dieser Linsenglieder sind symmetrisch angeordnet, so daß die konkaven Oberflächen der homogenen Linsen 32 einander gegenüberstehen. Die Kittfläche zwischen der inhomogenen Linse 31 und der homogenen Linse 30 ist eine gekrümmte Fläche, deren Krümmungsmittelpunkt zur Mitte hin liegt, und die Kittfläche zwischen der inhomogenen Linse 31 und der homogenen Linse 32 ist eben.

Die Daten dieses erfindungsgemäßen Systems 9 sind wie folgt.

Tabelle 9

$r_1 = 20,5429$	$d_1 = 35,6627$	$n_1 = 1,62004$	(inhomogen)
$r_2 = 16,3387$	$d_2 = 9,6627$	$n_2 = 1,64550$	
$r_3 = \infty$	$d_3 = 0,6746$	$n_3 = 1,51633$	
$r_4 = 6,5004$	$d_4 = 2$		
$r_5 = -6,5004$	$d_5 = 0,6746$	$n_4 = 1,51633$	(inhomogen)
$r_6 = \infty$	$d_6 = 9,6627$	$n_5 = 1,64550$	
$r_7 = -16,3387$	$d_7 = 35,6627$	$n_6 = 1,62004$	
$r_8 = -20,5429$			
$N(0) = 1,64500$		$N(1) = -0,55234 \times 10^{-2}$	20
$N(2) = -0,19013 \times 10^{-4}$		$N(3) = -0,15994 \times 10^{-6}$	
$R_\varphi = 0,546 > 0,2$		$R_p = 1,328 > 0,2$	

Dieses System 9 erfüllt die Bedingungen (1') und (2'). Der Korrekturzustand dieses Systems ist in Fig. 26 dargestellt.

Das erfindungsgemäße System 10 verwendet eine Art von inhomogener Linse und drei Arten von homogenen Linsen. Wie in Fig. 16 gezeigt, ist eine plankonvexe homogene Linse 33 an einer Seite mit einer inhomogenen Linse 34 verkittet, die zwei ebene Oberflächen besitzt, und das Kittglied enthält eine homogene Linse 35 und eine weitere homogene Linse 36, die an der Außenseite angekittet sind. Die homogene Linse 36 besitzt eine konkave, in Luft stehende Oberfläche. Das erfindungsgemäße optische System ist symmetrisch angeordnet, wobei die konkaven Oberflächen einander gegenüberstehen. Die Daten dieses erfindungsgemäßen Systems 10 sind wie folgt.

Tabelle 10

$r_1 = 19,6041$	$d_1 = 37,0651$	$n_1 = 1,62004$	(inhomogen)
$r_2 = \infty$	$d_2 = 5,4819$	$n_2 = 1,77883$	
$r_3 = \infty$	$d_3 = 1,6739$	$n_3 = 1,51633$	
$r_4 = 4,1982$	$d_4 = 2,0489$	$n_4 = 1,62004$	
$r_5 = 8,7745$	$d_5 = 1,4586$		(inhomogen)
$r_6 = -8,7745$	$d_6 = 2,0489$	$n_5 = 1,62004$	
$r_7 = -4,1982$	$d_7 = 1,6739$	$n_6 = 1,51633$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 5,4819$	$n_7 = 1,77883$	
$r_9 = \infty$	$d_9 = 37,0651$	$n_8 = 1,62004$	
$r_{10} = -19,6041$			
$N(0) = 1,77883$		$N(1) = -0,68544 \times 10^{-2}$	45
$N(2) = 0,11515 \times 10^{-4}$		$N(3) = 0,16570 \times 10^{-7}$	
$R_\varphi = 1,003 > 0,2$		$R_p = 1,836 > 0,2$	

Dieses erfindungsgemäße System 10 genügt den Bedingungen (1') und (2'), und dessen Korrekturzustand ist aus Fig. 27 ersichtlich.

Das erfindungsgemäße System 11 hat den in Fig. 17 gezeigten Linsenaufbau. Alle Systeme 1 bis 10 sind symmetrisch, während dieses System asymmetrisch ist, d. h. dieses System enthält ein Kittglied mit einer homogenen Linse 37 und einer inhomogenen Linse 38 und eine bikonvexen homogenen Linse 39. Die in Luft stehende Oberfläche der inhomogenen Linse ist konkav, während die andere Oberfläche mit einer homogenen Linse 37 verkittet ist, und dies stellt den Grundaufbau nach der vorliegenden Erfindung dar.

Die Daten dieses erfindungsgemäßen Systems 11 sind wie folgt.

Tabelle 11

$r_1 = 404,5542$	$d_1 = 40,1460$	$n_1 = 1,62004$	(inhomogen)
$r_2 = 11,3674$	$d_2 = 10,8611$	$n_2 = 1,64550$	
$r_3 = 4,5659$	$d_3 = 3,3561$		
$r_4 = 10,9087$	$d_4 = 39,9009$	$n_3 = 1,62004$	
$r_5 = -10,6031$			
$N(0) = 1,6455$		$N(1) = -0,603 \times 10^{-2}$	65
$N(2) = -0,1107 \times 10^{-4}$		$N(3) = -0,8838 \times 10^{-7}$	
$R_\varphi = 1,240 > 0,2$		$R_p = 1,763 > 0,2$	

Bei diesem erfindungsgemäßen System 11 genügt nur das Linsenglied mit der inhomogenen Linse den Bedingungen (1) und (2). Der Korrekturzustand ist aus Fig. 28 ersichtlich.

Selbst wenn das Linsensystem asymmetrisch ist, wie bei diesem erfindungsgemäßen System 11, ist es möglich, die Bildfeldkrümmung zu beseitigen.

5 In allen Systemen beträgt die Entfernung von Bild zu Bild 100 mm, die numerische Apertur ist 0,0711, und die Bildhöhe beträgt 1,6.

Bei diesen Daten bezeichnen jeweils r_1, r_2, \dots die Krümmungsradien der entsprechenden Oberflächen in der Reihenfolge von der Einfallsseite; d_1, d_2, \dots die Luftabstände zwischen den entsprechenden Flächen in der Reihenfolge von der Einfallsseite; n_1, n_2, \dots die Brechzahlen der Linsen (die Brechzahlen auf der optischen Achse bei inhomogenen Linsen) in der Reihenfolge von der Einfallsseite.

10 Die optischen Bildübertragungssysteme nach der Erfindung haben zahlreiche Vorteile. Beispielsweise ist die Bildfeldkrümmung beseitigt, und die Verschlechterung des Bildes ist gering, selbst wenn die Zahl der Bildübertragungen hoch ist. Die Konstruktion ist so einfach, daß es möglich ist, die Kosten gering zu halten. Darüber hinaus ist die Zahl der Linsen gering, und die Linsen sind miteinander verkittet, so daß die Verschlechterung des Bildes, die sich durch Dezentrierung ergibt, wenn das Linsensystem zusammengesetzt wird, gering ist, und die Zahl der in Luft stehenden Oberflächen ist klein, so daß der Verlust an Beleuchtungsintensität und die hervorgerufene Unschärfe gering sind.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

24-07-88

FIG. 5

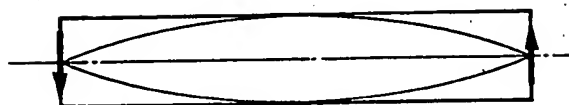


FIG. 6

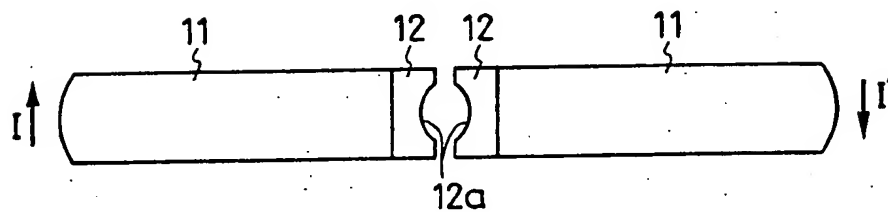
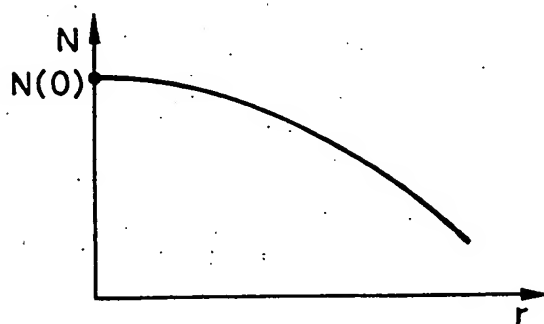


FIG. 7



ORIGINAL INSPECTED

24-07-88

FIG. 8

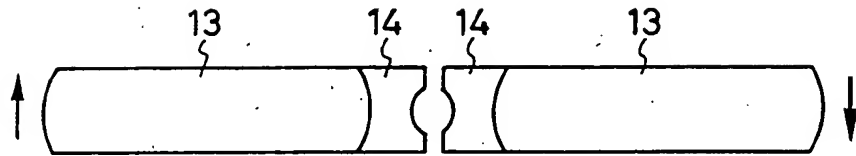


FIG. 9

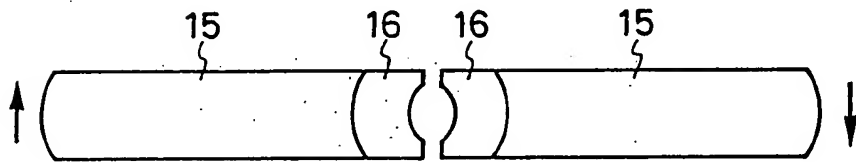


FIG. 10

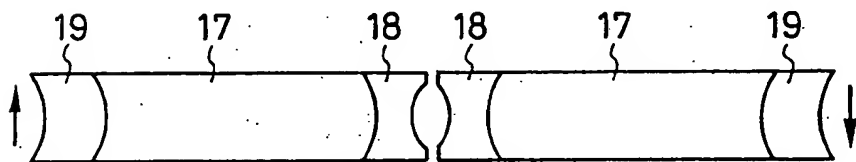


FIG. 11

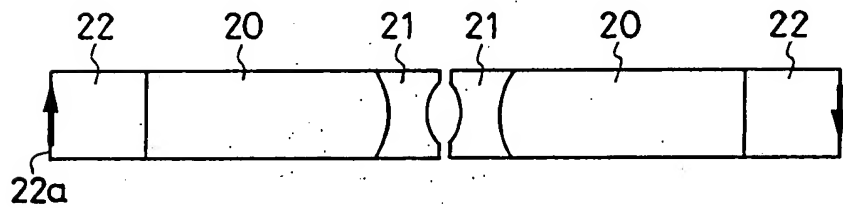
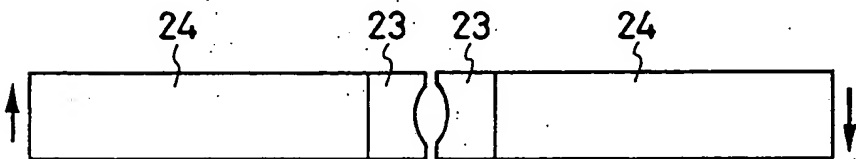


FIG. 12



ORIGINAL INSPECTED

24-07-88

FIG. 13

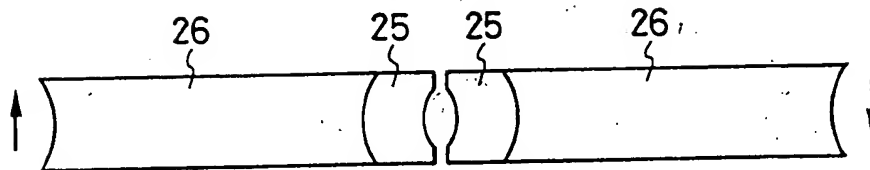


FIG. 14

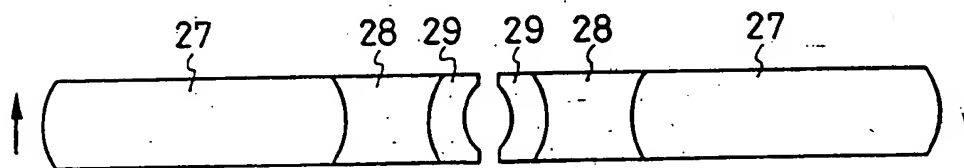


FIG. 15

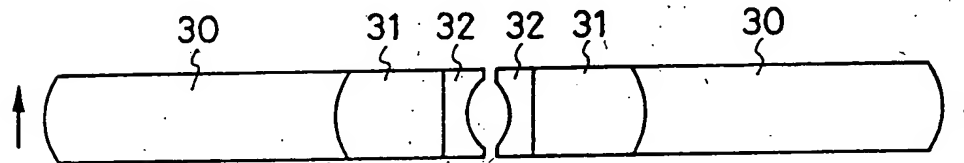


FIG. 16

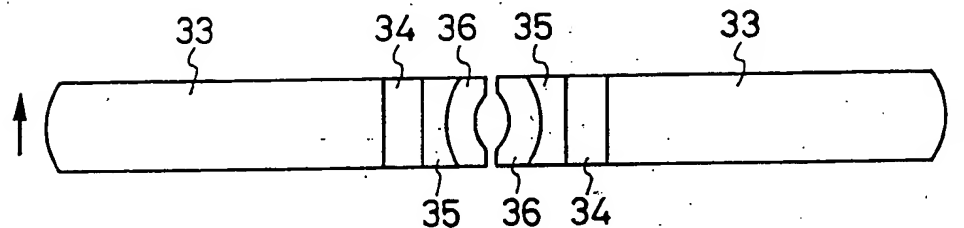
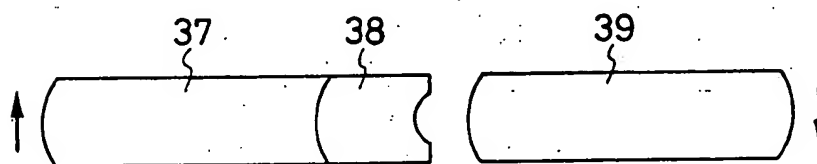


FIG. 17



ORIGINAL INSPECTED

24.07.88

FIG. 18

SPHÄRISCHE
ABERRATION

NA 0.0711

-10 10

ASTIGMATISMUS

IH 1.6

-10 10

KOMA

IH 1.6

-10 10

FIG. 19

SPHÄRISCHE
ABERRATION

NA 0.0711

-10 10

ASTIGMATISMUS

IH 1.6

-10 10

KOMA

IH 1.6

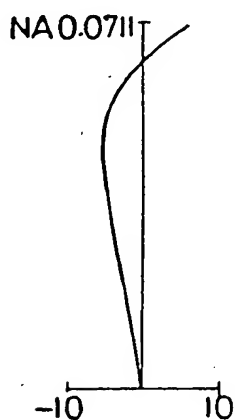
-10 10

ORIGINAL INSPECTED

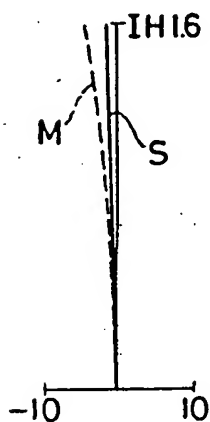
24-07-85

FIG. 20

SPHÄRISCHE
ABERRATION



ASTIGMATISMUS



KOMA

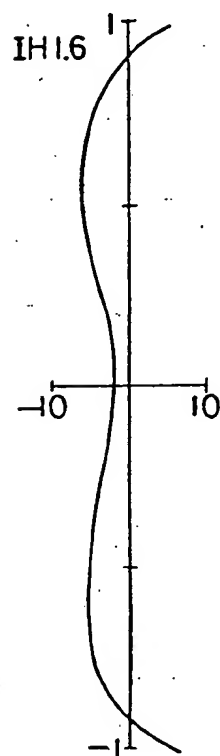
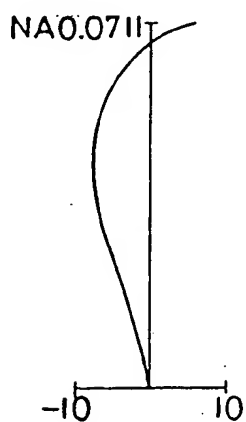
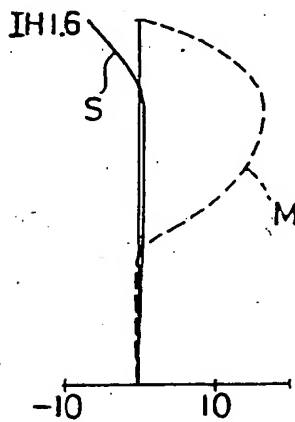


FIG. 21

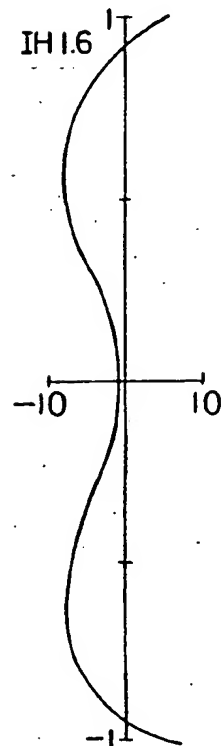
SPHÄRISCHE
ABERRATION



ASTIGMATISMUS



KOMA



ORIGINAL INSPECTED

FIG. 22

SPHÄRISCHE
ABERRATION

ASTIGMATISMUS

KOMA

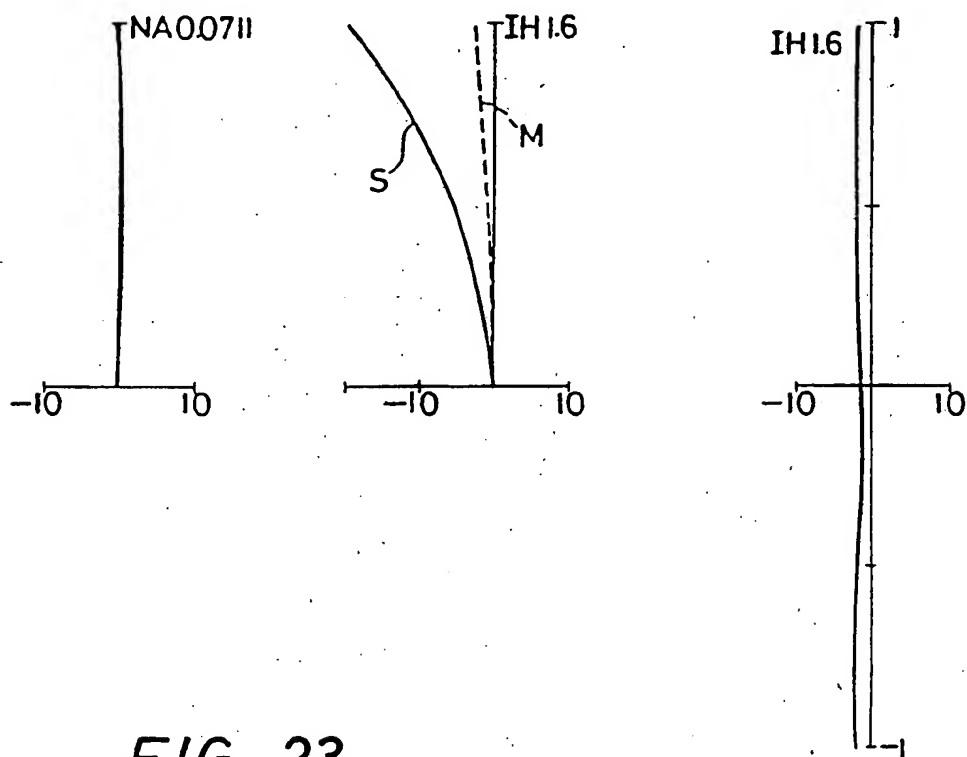
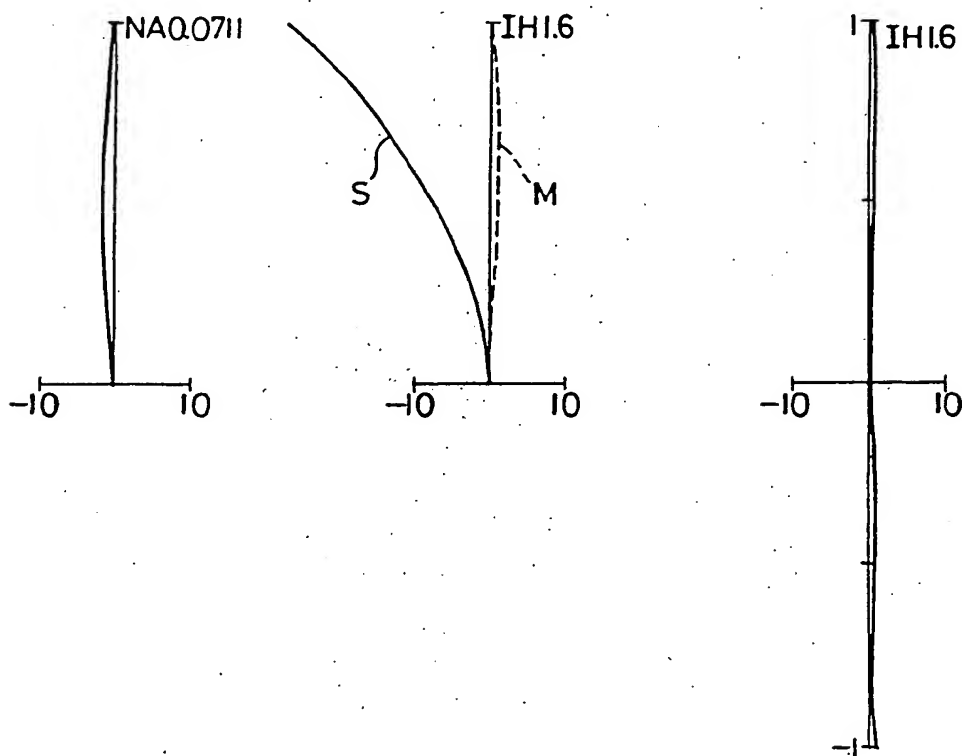


FIG. 23

SPHÄRISCHE
ABERRATION

ASTIGMATISMUS

KOMA



2407-85

FIG. 24

SPHÄRISCHE
ABERRATION

ASTIGMATISMUS

KOMA

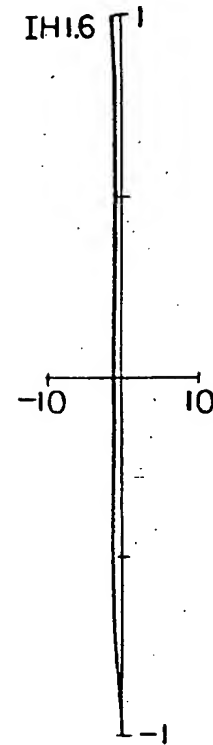
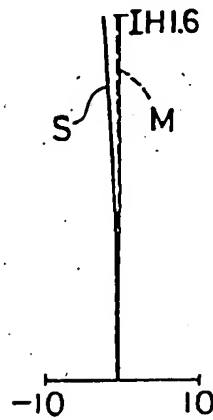
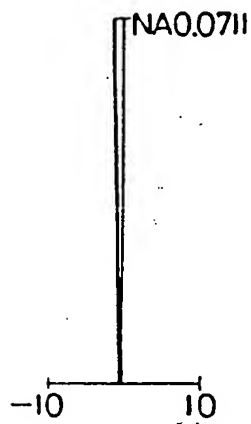
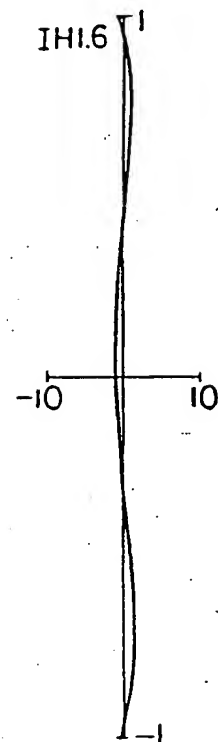
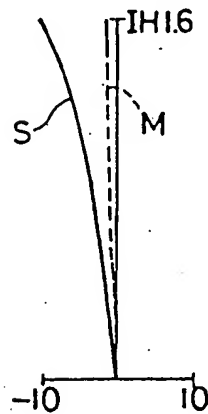
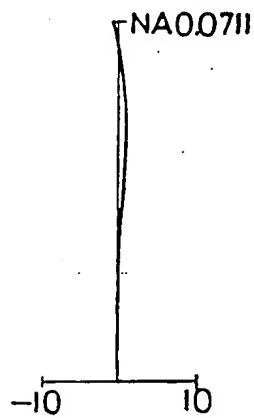


FIG. 25

SPHÄRISCHE
ABERRATION

ASTIGMATISMUS

KOMA



ORIGINAL INSPECTED

24.07.88

FIG. 26

SPHÄRISCHE
ABERRATION

ASTIGMATISMUS

KOMA

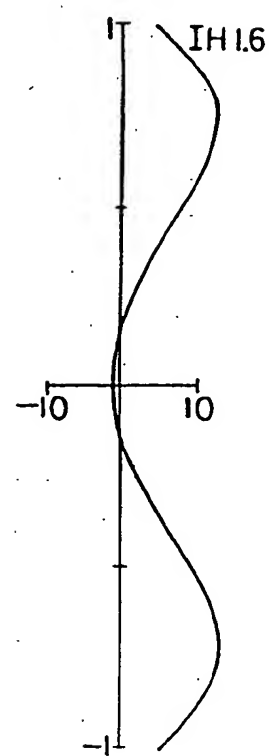
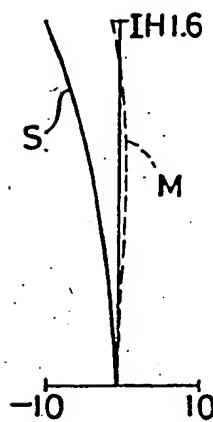
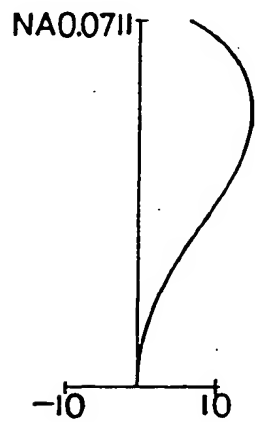
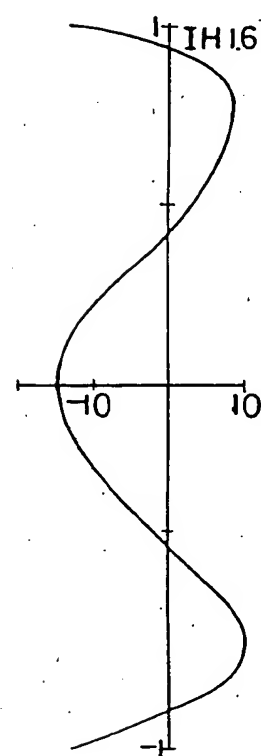
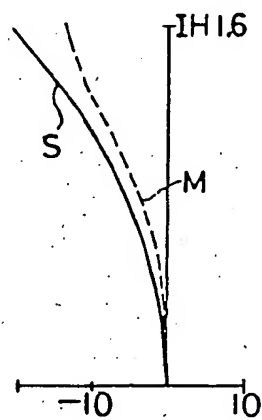
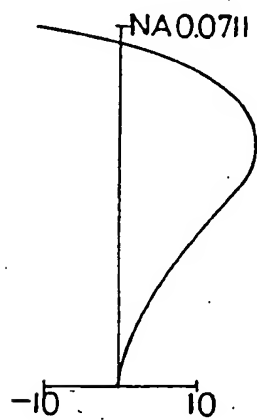


FIG. 27

SPHÄRISCHE
ABERRATION

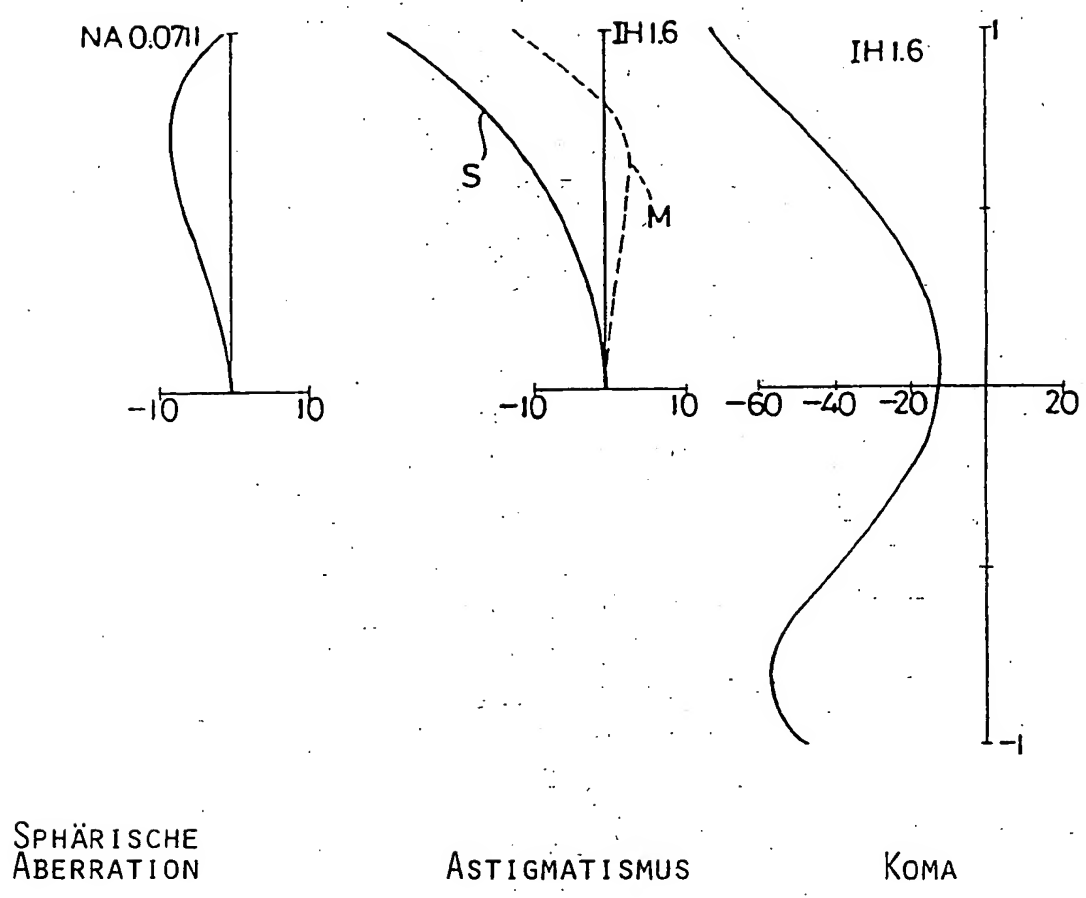
ASTIGMATISMUS

KOMA



ORIGINAL INSPECTED

FIG. 28



ORIGINAL INSPECTED